

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-124092

(43)Date of publication of application : 28.04.2000

(51)Int.Cl. H01L 21/02

(21)Application number : 10-314018 (71)Applicant : SHIN ETSU HANDOTAI CO LTD
SOI TEC(22)Date of filing : 16.10.1998 (72)Inventor : AGA KOJI
TATE NAOTO
MITANI KIYOSHI

(54) MANUFACTURE OF SOI WAFER BY HYDROGEN-ION IMPLANTATION STRIPPING
METHOD AND SOI WAFER MANUFACTURED THEREBY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for manufacturing a high quality SOI wafer through the hydrogen-ion implantation stripping method by removing a damaged layer remaining on a SOI layer surface after stripping and the surface roughness, while film thickness uniformity of the SOI layer is maintained.

SOLUTION: The method for manufacturing an SOI wafer by the H-ion implantation stripping method comprises forming an oxide film on an SOI layer through heat treatment in an oxidative atmosphere after a bonding heat treatment, removing the oxide film, and heat treating in a reducing atmosphere. The oxide film is formed on the SOI layer by the heat treatment in an oxidative atmosphere after a stripping heat treatment, the oxide film is removed and heat treatment in a reducing atmosphere is applied thereon.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.09.2001

[Date of sending the examiner's decision of
rejection] 07.02.2006[Kind of final disposal of application other than
the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision 2006-09089
of rejection][Date of requesting appeal against examiner's 08.05.2006
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-124092

(P2000-124092A)

(43) 公開日 平成12年4月28日 (2000. 4. 28)

(51) Int.Cl.

H 0 1 L 21/02

識別記号

F I

H 0 1 L 21/02

マークシート (参考)

B

審査請求 未請求 請求項の数8 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平10-314018

(22) 出願日 平成10年10月16日 (1998. 10. 16)

(71) 出願人 000190149

信越半導体株式会社

東京都千代田区丸の内1丁目4番2号

(71) 出願人 598054968

エス オー アイ テック エス・エー
フランス国 38000 グルノーブル フィ
ルマン グティエ プラサ 1

(72) 発明者 阿賀 浩司

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半
導体株式会社半導体磯部研究所内

(74) 代理人 100102532

弁理士 好宮 幹夫

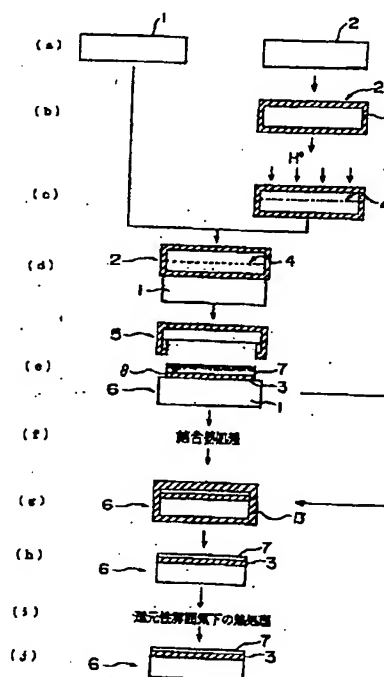
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水素イオン注入剥離法によってSOIウエーハを製造する方法およびこの方法で製造されたSOIウエーハ

(57) 【要約】

【課題】 水素イオン注入剥離法において、剥離後にSOI層表面に残留するダメージ層、表面粗さを、SOI層の膜厚均一性を維持しつつ除去することにより、高品質のSOIウエーハを製造する方法を提供する。

【解決手段】 水素イオン注入剥離法によってSOIウエーハを製造する方法において、結合熱処理後、酸化性雰囲気下の熱処理によりSOI層に酸化膜を形成した後、該酸化膜を除去し、次に還元性雰囲気下の熱処理を加えるSOIウエーハを製造する方法。および、水素イオン注入剥離法によってSOIウエーハを製造する方法において、剥離熱処理後、酸化性雰囲気下の熱処理によりSOI層に酸化膜を形成した後、該酸化膜を除去し、次に還元性雰囲気下の熱処理を加えるSOIウエーハを製造する方法。および、これらの方法で製造されたSOIウエーハ。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 水素イオン注入剥離法によってSOIウエーハを製造する方法において、結合熱処理後、酸化性雰囲気下の熱処理によりSOI層に酸化膜を形成した後、該酸化膜を除去し、次に還元性雰囲気下の熱処理を加えることを特徴とするSOIウエーハを製造する方法。

【請求項2】 水素イオン注入剥離法によってSOIウエーハを製造する方法において、剥離熱処理後、酸化性雰囲気下の熱処理によりSOI層に酸化膜を形成した後、該酸化膜を除去し、次に還元性雰囲気下の熱処理を加えることを特徴とするSOIウエーハを製造する方法。

【請求項3】 前記還元性雰囲気下の熱処理は、急速加熱・急速冷却装置を用いて1000～1300℃の温度範囲で、1～60秒間行うことを特徴とする請求項1または請求項2に記載のSOIウエーハを製造する方法。

【請求項4】 前記還元性雰囲気を、100%水素雰囲気、あるいは水素とアルゴンの混合雰囲気とすることを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載のSOIウエーハを製造する方法。

【請求項5】 前記酸化性雰囲気下の熱処理によりSOI層に形成される酸化膜の厚さは、酸化膜形成前におけるSOI層表面のダメージ層の厚さの2倍以上とすることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載のSOIウエーハを製造する方法。

【請求項6】 前記酸化性雰囲気下の熱処理温度は、前記還元性雰囲気下の熱処理温度より低温とすることを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれか1項に記載のSOIウエーハを製造する方法。

【請求項7】 前記酸化性雰囲気下の熱処理温度は、1000℃以下とすることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれか1項に記載のSOIウエーハを製造する方法。

【請求項8】 請求項1ないし請求項7のいずれか1項に記載の方法により製造されたSOIウエーハ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、イオン注入したウエーハを結合後に剥離してSOI (Silicon On Insulator) ウエーハを製造する、いわゆる水素イオン注入剥離法 (スマートカット法とも呼ばれている) において、剥離後にSOI層上に残留するダメージ層、表面粗さを除去するとともに、工程の簡略化を図る方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 最近、SOIウエーハの製造方法として、イオン注入したウエーハを結合後に剥離してSOIウエーハを製造する方法 (水素イオン注入剥離法：スマートカット法と呼ばれる技術) が新たに注目され始めている。この方法は、二枚のシリコンウエーハの内、少なくとも一方に酸化膜を形成すると共に、一方のシリコンウエーハの上面から水素イオンまたは希ガスイオンを注

入し、該ウエーハ内部に微小気泡層 (封入層) を形成させた後、該イオンを注入した方の面を酸化膜を介して他方のシリコンウエーハと密着させ、その後熱処理 (剥離熱処理) を加えて微小気泡層を劈開面として一方のウエーハを薄膜状に剥離し、さらに熱処理 (結合熱処理) を加えて強固に結合してSOIウエーハとする技術 (特開平5-211128号参照) である。この方法では、劈開面 (剥離面) は良好な鏡面であり、SOI層の膜厚の均一性も高いSOIウエーハが比較的容易に得られている。

【0003】 しかし、水素イオン注入剥離法によりSOIウエーハを作製する場合においては、剥離後のSOIウエーハ表面にイオン注入によるダメージ層が存在し、また表面粗さが通常のシリコンウエーハの鏡面に比べて大きなものとなる。したがって、水素イオン注入剥離法では、このようなダメージ層、表面粗さを除去することが必要になる。従来、このダメージ層等を除去するために、結合熱処理後の最終工程においては、タッチポリッシュと呼ばれる研磨代の極めて少ない鏡面研磨が行われていた。

【0004】 しかし、SOI層に機械加工である研磨をしてしまうと、研磨の取り代が均一でないために、水素イオン注入、剥離によって達成されたSOI層の膜厚均一性が悪化してしまうという問題が生じる。また、結合熱処理後に鏡面研磨をするのでは、工程が多く煩雑であり、コスト的にも不利である。

【0005】 そこで、剥離後のSOIウエーハに酸化性雰囲気下の熱処理を行い、SOI層に酸化膜を形成した後、該酸化膜を除去する、いわゆる犠牲酸化を行うことによりダメージ層を除去する方法が提案された。この方法であれば、機械加工である研磨によらずダメージ層を除去することができる。

【0006】 しかし、この犠牲酸化のみでは、SOI層表面の表面粗さを十分に改善することができないために、結局、面粗さの改善のために機械研磨であるタッチポリッシュが必要となり、SOI層の膜厚均一性を劣化させてしまう。また、酸化性雰囲気下の熱処理を行うと、SOI層表面のダメージに起因してOSF (酸化誘起積層欠陥) が発生することがある。

【0007】 そこで、水素イオン注入剥離法で得られたSOIウエーハの表面を研磨することなく還元性雰囲気下で熱処理することにより、SOI層のダメージを回復させ、面粗さを改善する方法が提案された。この方法であれば、剥離後のSOI層に残るダメージとSOI層表面の面粗さを膜厚均一性を維持したまま改善することができる。

【0008】 しかし、水素イオン注入剥離法で得られたSOIウエーハのSOI層中のダメージは、表面側が大きく、内部になるに従い小さくなる。従って、上記のような還元性の熱処理を加えると、ダメージの回復はSO

10

20

30

40

50

I層の内部から表面側に進行することになるが、表面側のダメージが大きい場合には、高温、長時間の熱処理が必要とされ、高温、長時間の熱処理を行っても、場合によっては完全に回復できないこともあった。

【0009】ダメージの大きさや深さは、水素イオン注入の注入エネルギーの大きさやドーズ量に起因するものである。例えば、厚いSOI層や厚い埋め込み酸化膜を有するSOIウエーハを製造する場合に注入エネルギーを大きくする必要があるような場合や、剥離熱処理を低温で行う目的によりドーズ量を大きくする必要があるような場合には、上記の問題は顕著になる。

【0010】さらに、水素等の還元性雰囲気下で高温、長時間の熱処理を行うと、SOI層表面のシリコンがエッチングされて膜厚均一性が劣化すると共に、埋め込み酸化膜にエッチピットが生じることがあった。これは、SOI層にCOP (Crystal Originated Particle) のような欠陥があり、それが下地の酸化膜までつながっていると、COPは消滅せずにそのまま残るか、あるいは拡大することもあるため、欠陥を通して侵入した水素等によって埋め込み酸化膜までもがエッチングされてしまい、ここにピットが形成されることが原因である。このエッチピットは、その近傍のSOI層にも影響を与えるため問題であった。

【0011】以上のように、水素イオン注入剥離法によって得られるSOIウエーハのダメージ層や表面粗さをSOI層の膜厚均一性を維持しつつ除去するために、種々の方法が提案されたが、いまだに満足できるものはなく、適切な解決方法が望まれていた。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】そこで、本発明はこのような問題点を鑑みなされたもので、水素イオン注入剥離法において、剥離後にSOI層表面に残留するダメージ層、表面粗さを、SOI層の膜厚均一性を維持しつつ除去することにより、高品質のSOIウエーハを製造する方法を提供すると共に、ウエーハ製造の生産性を向上させることを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明の請求項1に記載した発明は、水素イオン注入剥離法によってSOIウエーハを製造する方法において、結合熱処理後、酸化性雰囲気下の熱処理によりSOI層に酸化膜を形成した後に該酸化膜を除去し、次に還元性雰囲気下の熱処理を加えることを特徴とするSOIウエーハを製造する方法である。

【0014】このように、結合熱処理後、酸化性雰囲気下の熱処理によりSOI層に酸化膜を形成してから酸化膜を除去する犠牲酸化を行うことにより、酸化膜中にSOI層表面のダメージ層の一部または全部を取り込むことができるので、これを除去すればダメージ層を効率良く除去することができる。そして、次に還元性雰囲気下

の熱処理を加えることにより、SOI層に残留するダメージ層を回復させるとともに、表面粗さを改善することができる。すでにSOI層表面のダメージ層の一部または全部を除去しているので熱処理時間も短時間とすることができる。そのため、SOI層や埋め込み酸化膜がエッチングされることも防止できる。さらに、この方法では、機械加工である研磨等を行う必要がないため、SOI層の膜厚均一性が劣化することなく、水素イオン注入剥離法により極めて高品質のSOIウエーハを、より高生産性で製造することができる。

【0015】また、本発明の請求項2に記載した発明は、水素イオン注入剥離法によってSOIウエーハを製造する方法において、剥離熱処理後、酸化性雰囲気下の熱処理によりSOI層に酸化膜を形成した後に該酸化膜を除去し、次に還元性雰囲気下の熱処理を加えることを特徴とするSOIウエーハを製造する方法である。

【0016】このように、剥離熱処理後、酸化性雰囲気下の熱処理によりSOI層に酸化膜を形成してから酸化膜を除去することにより、酸化膜中にSOI層表面のダメージ層の一部または全部を取り込むことができるので、これを除去することによりダメージ層を効率良く除去することができる。そして、還元性雰囲気下の熱処理を加えることにより、SOI層に残留するダメージ層を回復させるとともに、表面粗さを改善することができる。すでにSOI層表面のダメージ層の一部または全部を除去しているので短時間で効果的に熱処理を行うことができる。そのため、SOI層や埋め込み酸化膜がエッチングされることも防止できる。さらに、この方法では、機械加工である研磨等を行う必要がないため、SOI層の膜厚均一性が劣化することもない。

【0017】この場合、酸化膜を形成してから結合熱処理を行えば、酸化膜が結合熱処理中の表面保護膜の役割を果たすことになり、結合熱処理を非酸化性雰囲気で行う場合に生ずるSOI層表面のエッチングを防ぐことができる。あるいは、この酸化性雰囲気下での熱処理もしくは還元性熱処理を、結合熱処理をも兼ねるものとしてもできる。このようにすれば、結合熱処理を別個独立して行う必要はなくなり、水素イオン注入剥離法により極めて高品質のSOIウエーハを、より簡略な工程とし高生産性で製造することができる。

【0018】この場合、請求項3に記載したように、前記還元性雰囲気下の熱処理は、急速加熱・急速冷却装置を用いて1000～1300℃の温度範囲で、1～60秒間行うことが好ましい。このように、還元性雰囲気下の熱処理を急速加熱・急速冷却装置を用いて、1000～1300℃の高い温度で、1～60秒間の短時間に行えば、極めて短時間で効率よくSOIウエーハ表面のダメージ層および面粗さを改善することができる。さらに、SOI層や埋め込み酸化膜がエッチングされることを防止することもできる。

【0019】また、請求項4に記載したように、前記還元性雰囲気は、100%水素雰囲気、あるいは水素とアルゴンの混合雰囲気とすることが好ましい。このような熱処理雰囲気とすれば、確実にSOI層の表面のダメージ層および表面粗さを改善することができる。

【0020】さらに、本発明の請求項5に記載したように、前記酸化性雰囲気下の熱処理によりSOI層に形成される酸化膜の厚さは、酸化膜形成前におけるSOI層表面のダメージ層の厚さの2倍以上とすることができる。このように、酸化性雰囲気下の熱処理によりSOI層に形成される酸化膜の厚さを、酸化膜形成前におけるSOI層表面のダメージ層の厚さの2倍以上とすれば、形成される酸化膜中にダメージ層のほぼ全部を取り込むことができるので、後に行う還元性雰囲気下の熱処理時間はさらに短くすることができ、効率良くダメージ層等の除去を行うことができる。

【0021】さらに、請求項6に記載したように、前記酸化性雰囲気下の熱処理温度は、前記還元性雰囲気下の熱処理温度より低温とすることが好ましい。これは、酸化性雰囲気下の熱処理を行うと、SOI層表面のダメージに起因してOSFが発生することがあるが、酸化性雰囲気下の熱処理温度よりも高温でその後の還元性雰囲気下の熱処理を行えば、SOI層表面に発生したOSFが除去されやすいからである。

【0022】そして、請求項7に記載したように、前記酸化性雰囲気下の熱処理温度は、1000℃以下とすることが好ましい。このように酸化性雰囲気下の熱処理温度を1000℃以下とすることにより、SOI層にOSFが発生することを防ぐことができる。

【0023】そして、請求項8に記載したように、請求項1ないし請求項7のいずれか1項に記載の方法により製造されたSOIウエーハは、SOI層のダメージ層がなく、表面粗さも改善され、且つ膜厚均一性も優れた高品質のSOIウエーハとなる。

【0024】以下、本発明についてさらに詳述するが、本発明はこれらに限定されるものではない。本発明は、水素イオン注入剥離法によりSOIウエーハを製造するに際して、結合熱処理後あるいは剥離熱処理後に、犠牲酸化と還元性雰囲気下の熱処理とを組み合わせることで、SOI層の膜厚均一性を維持しつつ、SOI層のダメージ層及び表面粗さを除去することができることを見出し、諸条件を精査して完成されたものである。

【0025】すなわち、従来の方法のうち、犠牲酸化のみを行う方法では、SOI層のダメージ層を除去することはできても表面粗さを十分に改善することはできず、結局SOI層の膜厚均一性を劣化させる研磨等を行わなくてはならなかった。一方、還元性雰囲気下の熱処理のみを行う方法では、SOI層の表面側のダメージ層を回復させるのに長時間を要し、長時間の熱処理を行うことによりSOI層や埋め込み酸化膜がエッチングされる等

の弊害があった。

【0026】そこで、本発明ではこれら二つの工程を組み合わせて行うこととした。すなわち、まず犠牲酸化により、ダメージの大きい表面側のダメージ層を除去してしまう。そして還元性雰囲気下の熱処理により、残りのダメージの小さいバルク側のダメージ層のダメージを回復させ、かつ表面粗さを改善する。このようにすれば、研磨等の機械的な加工は不要であり、SOI層の膜厚均一性を維持しつつ、ダメージ層の除去と表面粗さの改善をすることが可能である。さらに、還元性雰囲気下の熱処理時間を短くすることができるため、SOI層や埋め込み酸化膜がエッチングされることを防止することができる。さらに、犠牲酸化により生じたOSFを後に行う還元性雰囲気下の熱処理で除去することができるという効果も有するものとなる。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。ここで、図1は本発明の水素イオン注入剥離法でSOIウエーハを製造する方法の製造工程の一例を示すフロー図である。

【0028】以下、本発明を2枚のシリコンウエーハを結合する場合を中心に説明する。まず、図1の水素イオン注入剥離法において、工程(a)では、2枚のシリコン鏡面ウエーハを準備するものであり、デバイスの仕様にあった支持基板となるベースウエーハ1とSOI層となるボンドウエーハ2を準備する。次に工程(b)では、そのうちの少なくとも一方のウエーハ、ここではボンドウエーハ2を熱酸化し、その表面に約0.1~2.0μm厚の酸化膜3を形成する。

【0029】工程(c)では、表面に酸化膜を形成したボンドウエーハ2の片面に対して水素イオンまたは希ガスイオン、ここでは水素イオンを注入し、イオンの平均進入深さにおいて表面に平行な微小気泡層(封入層)4を形成させる。工程(d)は、水素イオンを注入したボンドウエーハ2の水素イオン注入面に、ベースウエーハ1を酸化膜を介して重ね合わせて密着させる工程であり、常温の清浄な雰囲気下で2枚のウエーハの表面同士を接触させることにより、接着剤等を用いることなくウエーハ同士が接着する。

【0030】次に、工程(e)は、封入層4を境界として剥離することによって、剥離ウエーハ5とSOIウエーハ6(SOI層7+埋め込み酸化膜3+ベースウエーハ1)に分離する剥離熱処理工程で、例えば不活性ガス雰囲気下約500℃以上の温度で熱処理を加えれば、結晶の再配列と気泡の凝集とによって剥離ウエーハ5とSOIウエーハ6に分離される。そして、この剥離したままのSOIウエーハ表面のSOI層7には、ダメージ層8が残留する。

【0031】ここまでの工程は、本発明の方法も、従来

の水素イオン注入剥離法と同じである。そして、本発明は、この剥離工程後、請求項1のような方法と、請求項2のような方法に分かれる。

【0032】まず、請求項1の方法では、剥離工程の後、従来通り工程(f)で、結合熱処理工程を行う。この工程は、前記工程(d)(e)の密着工程および剥離熱処理工程で密着させたウエーハ同士の結合力では、そのままデバイス工程で使用するには弱いので、結合熱処理としてSOIウエーハ6に高温の熱処理を施し結合強度を十分なものとする。この熱処理は例えば不活性ガス雰囲気下、1000~1300℃で30分から2時間の範囲で行うことが好ましい。

【0033】そして、次に従来法ではタッチポリッシュ等の研磨の工程を行い、SOI層7の表面である剥離面に存在するダメージ層および表面粗さを除去する工程を行うが、本発明では、工程(g)において、まず酸化性雰囲気下の熱処理を行い、SOI層7に酸化膜13を形成して、ダメージ層8を酸化膜13に取り込むようにする。

【0034】そして、工程(h)では、SOI層7に形成した酸化膜13を除去する。この酸化膜13の除去は、例えばHFを含む水溶液でエッチングすることにより行えばよい。HFを含む水溶液でエッチングするにすれば、酸化膜13のみがエッチングにより除去され、犠牲酸化によりダメージ層を除去したSOIウエーハ6を得ることができる。しかも、このようなウエーハのHF処理は簡単であるとともに低コストであるという有利性もある。

【0035】さらに、工程(i)では、還元性雰囲気下の熱処理を施し、SOI層7の表面の残留ダメージ層8、及び表面粗さを改善する。このように、犠牲酸化熱処理後、還元性雰囲気下の熱処理を加えることによって、SOI層表面に残留するダメージ層8、及び表面粗さを、膜厚均一性を悪化させることなく除去することができ、すでにダメージ層8の一部あるいは全部を工程(g)(h)の犠牲酸化熱処理で除去してしまっているため、還元性雰囲気下の熱処理は短時間で効率良く終了させることができる。そのためSOI層7や埋め込み酸化膜3がエッチングされることを防止することができる。

【0036】一方、本発明の請求項2の方法では、剥離工程の後、単独の結合熱処理工程(f)を行うことなく、SOI層7の表面を研磨することなく、直接工程(g)の酸化性雰囲気下の熱処理を行う。

【0037】すなわち、剥離熱処理後、すぐに酸化性雰囲気下の熱処理を加えた後(工程(g))、酸化膜13を除去し(工程(h))、還元性雰囲気下の熱処理を加えることによって(工程(i))、SOI層7の表面に残留するダメージ層8、表面粗さを除去する。この場合、酸化性雰囲気下の熱処理(工程(g))と酸化膜1

3の除去(工程(h))の間に、結合熱処理(工程(f))を行うことができる。このようにすると、機械的な研磨をする必要がなくなり、膜厚均一性を悪化させることがなくなることに加えて、酸化膜13が結合熱処理中の表面保護膜の役割を果たすため、結合熱処理の非酸化性雰囲気によって、SOI層7の表面がエッチングされ、面あれが生ずるのを防ぐ効果がある。一方、結合熱処理(工程(f))を省略してしまい、還元性雰囲気下の熱処理(工程(i))を結合熱処理(工程(f))をも兼ねるものとすることもできる。このようにすると、結合熱処理を単独で行う必要がなくなるので、より簡略な工程とすることができ、高品質なSOIウエーハの生産性の向上にも寄与することができる。

【0038】以上の工程を経て結晶品質が高く、膜厚均一性の高いSOI層7を有する高品質のSOIウエーハ6を製造することができる(工程(j))。

【0039】そして、上記のような工程(g)の酸化性雰囲気下の熱処理で形成される酸化膜13の厚さは、酸化膜13形成前におけるSOI層7表面のダメージ層8の厚さの2倍以上とすることが好ましい。これは、シリコンの熱酸化は浸透型であり、シリコン表面に熱酸化膜を形成すると、シリコンの表層部のうち、形成される酸化膜の厚さの約半分の深さの層が酸化膜に取り込まれるからである。したがって、ダメージ層8の厚さの2倍以上の膜厚の酸化膜13を形成するようにすれば、酸化膜13にダメージ層8の全部分を取り込むことができるので、後に行う還元性雰囲気下の熱処理の負担を軽減し、還元性熱処理時間を短縮することができる。しかし、本発明はこれに限定されず、SOI層7の厚さや埋め込み酸化膜3の厚さ等の条件により、形成する酸化膜13の膜厚を任意に変更し、犠牲酸化によるダメージ層8の除去と、還元性熱処理によるダメージ層8の回復との割合を変化させることも可能である。

【0040】また、この工程(g)における酸化熱処理の熱処理温度は、後に行う還元性熱処理の熱処理温度よりも低温とすることが好ましく、より好ましくは1000℃以下とする。これは、前述したように、酸化性雰囲気下の熱処理を行うことにより発生するOSFは、後の還元性熱処理により除去することができるが、酸化性熱処理の熱処理温度よりも高温でその後の還元性熱処理を行うことにより、OSFが除去され易くなるからである。さらに酸化熱処理を1000℃以下の温度で行うことにより、OSFの発生自体を抑制することができるため、この低い温度範囲で熱処理を行うことがより好ましいのである。

【0041】また、上記のような工程(i)の還元性雰囲気下の熱処理を効率良く行うためには、急速加熱・急速冷却装置を用いて1000~1300℃の温度範囲で、1~60秒間行うことが好ましい。このように、犠牲酸化熱処理後のSOIウエーハに急速加熱・急速冷却

装置を用いて還元性雰囲気下の熱処理を施せば、極めて短時間で効率よくSOIウエーハ表面のダメージ層8および表面粗さを改善することができる。さらに、短時間で効率良く還元性熱処理を行うことができるので、SOI層7や埋め込み酸化膜3のエッチングを防止する効果はより高いものとなる。

【0042】このような、SOIウエーハを還元性雰囲気下で急速加熱・急速冷却することができる装置としては、熱放射によるランプ加熱器のような装置を挙げることができる。また、市販されているものとして、例えばAST社製、SHS-2800のような装置を挙げることができ、これらは特別複雑で高価なものではない。

【0043】ここで、本発明で用いたシリコン単結晶ウエーハの急速加熱・急速冷却装置(RTA装置)の一例を示す。図3は、RTA装置の概略図である。図3の熱処理装置20は、炭化珪素あるいは石英からなるベルジャ21を有し、このベルジャ21内でウエーハを熱処理するようになっている。加熱は、ベルジャ21を囲繞するように配置される加熱ヒータ22、22'によって行う。この加熱ヒータは上下方向で分割されており、それぞれ独立に供給される電力を制御できるようになっている。もちろん加熱方式は、これに限定されるものではなく、いわゆる輻射加熱、高周波加熱方式としてもよい。加熱ヒータ22、22'の外側には、熱を遮蔽するためのハウジング23が配置されている。

【0044】炉の下方には、水冷チャンバ24とベースプレート25が配置され、ベルジャ21内と、外気とを封鎖している。そしてウエーハ28はステージ27上に保持されるようになっており、ステージ27はモータ29によって上下動自在な支持軸26の上端に取りつけられている。水冷チャンバ24には横方向からウエーハを炉内に出し入れできるように、ゲートバルブによって開閉可能に構成される不図示のウエーハ挿入口が設けられている。また、ベースプレート25には、ガス流入口と排気口が設けられており、炉内ガス雰囲気を調整できるようになっている。

【0045】以上のような熱処理装置20によって、ウエーハの急速加熱・急速冷却する熱処理は次のように行われる。まず、加熱ヒータ22、22'によってベルジャ21内を、例えば1000~1300℃の所望温度に加熱し、その温度に保持する。分割された加熱ヒータそれぞれを独立して供給電力を制御すれば、ベルジャ21内を高さ方向に沿って温度分布をつけることができる。したがって、ウエーハの処理温度は、ステージ27の位置、すなわち支持軸26の炉内への挿入量によって決定することができる。

【0046】ベルジャ21内が所望温度で維持されたなら、熱処理装置20に隣接して配置される、不図示のウエーハハンドリング装置によってウエーハを水冷チャンバ24の挿入口から入れ、最下端位置で待機させたステ

ージ27上に例えばSiCボートを介してウエーハを乗せる。この時、水冷チャンバ24およびベースプレート25は水冷されているので、ウエーハはこの位置では高温化しない。

【0047】そして、ウエーハのステージ27上への載置が完了したなら、すぐにモータ29によって支持軸26を炉内に挿入することによって、ステージ27を1000℃以上の所望温度位置まで上昇させ、ステージ上のウエーハに高温熱処理を加える。この場合、水冷チャンバ24内のステージ下端位置から、所望温度位置までの移動には、例えば20秒程度しかかからないので、ウエーハは急速に加熱されることになる。

【0048】そして、ステージ27を所望温度位置で、所定時間停止(1秒間以上)させることによって、ウエーハに停止時間分の高温熱処理を加えることができる。所定時間が経過し高温熱処理が終了したなら、すぐにモータ29によって支持軸26を炉内から引き抜くことによって、ステージ27を下降させ水冷チャンバ24内の下端位置とする。この下降動作も、例えば20秒程度で行うことができる。ステージ27上のウエーハは、水冷チャンバ24およびベースプレート25が水冷されているので、急速に冷却される。最後に、ウエーハハンドリング装置によって、ウエーハを取り出すことによって、熱処理を完了する。さらに熱処理するウエーハがある場合には、熱処理装置20の温度を降温させていないので、次々にウエーハを投入し連続的に熱処理をすることができる。

【0049】また、上記工程(i)における還元性雰囲気下の熱処理の雰囲気としては、100%水素雰囲気、あるいは水素とアルゴンの混合雰囲気とすることが好ましい。このような熱処理雰囲気とすれば、SOIウエーハ表面に害となるような被膜を形成することなく、確実にSOIウエーハの表面のダメージ層、表面粗さを改善することができるからである。

【0050】

【実施例】以下、本発明の実施例および比較例を挙げて具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

(実施例) チョクラルスキー法により作製された結晶方位<100>で、導電型がp型で、抵抗率が20Ω・cmのシリコン単結晶インゴットから、直径150mmのシリコン鏡面ウエーハを作製した。これらをボンドウエーハとベースウエーハに分け、図1(a)~(j)に示す工程に従った本発明の水素イオン注入剥離法によりSOIウエーハを製造することにした。

【0051】まず、図1の(a)~(e)にしたがい、ボンドウエーハ2を剥離して、SOIウエーハ6を得た。この時、SOI層7の厚さを400nm、埋め込み酸化膜3の厚さは700nmとし、その他イオンの注入等の主な条件は次の通りとした。

1) 水素注入条件: H^+ イオン、注入エネルギー 125 keV

注入線量 $8 \times 10^{16} / \text{cm}^2$

2) 剥離熱処理条件: N_2 ガス雰囲気下、500℃、30分

【0052】こうして厚さ400nmのSOI層7を有するSOIウエーハ6を得ることができたが、図1

(e)の剥離したままのSOIウエーハ6の表面(剥離面)の表面粗さを、原子間力顕微鏡法により1 μm 角で測定したところ、それぞれRMS値(二乗平均平方根粗さ)で、平均7.5nmであった。この値は、通常の鏡面研磨されたシリコンウエーハの表面粗さの10倍以上の値で、剥離したままのSOI層の表面は局部的な面粗れが大きいことがわかる。

【0053】また、図1(e)の、剥離したままのSOIウエーハ6の剥離面のダメージ層8の深さを調べるため、KOH水溶液によるエッチングを行い、表面からのエッチング除去量を変えたSOIウエーハを準備した。そして、これらのSOIウエーハを、H. Gassel (J. Electrochem. Soc., 140, p 1713, 1993)らにより開示された四段セコエッチング法を行った後顕微鏡観察して、その表面に存在するピット密度をカウントすることによって測定した。エッチング除去量は、0、50、100、150、200、250、300nmとした。測定結果を、図2の曲線aに示した。

【0054】この図から、剥離直後のSOIウエーハ6の表面には深さ約150nmのダメージ層があることがわかる。なお、150nmより深い所で観察されるピットは、もともとボンドウエーハに存在する結晶欠陥の密度であると思われる。

【0055】また、図1(e)の、剥離したままのSOIウエーハ6のSOI層7の膜厚を測定し、膜厚均一性を求めた。膜厚測定は、反射分光法で行い、SOIウエーハ6の面内を外周から10mmを除いて、1mmピッチで数千点測定した。測定値の σ (標準偏差)は、0.9nmであり、従って膜厚均一性($\pm 3\sigma$)は ± 2.7 nmで、悪くとも ± 3 nm以内であることがわかった。従って、剥離後のSOI層7の膜厚均一性は極めて良好であることがわかった。

【0056】次に、図1(f)の結合熱処理工程は、後の工程(i)の還元性雰囲気下の熱処理で兼ねるものとして省略し、図1(g)で、結合熱処理後のSOIウエーハ6を、研磨することなく、水蒸気を含む酸素雰囲気中、900℃の温度で150分間熱処理を加え、SOI層7の表面に約340nmの熱酸化膜を形成した。この酸化膜の厚さはダメージ層8の厚さの2倍以上であるため、ダメージ層8は完全に酸化膜中に取り込まれることとなった。

【0057】次に、図1(h)で、この表面に熱酸化膜

を有するSOIウエーハ6を、HF濃度10%のフッ酸水溶液に浸漬することによって、表面の熱酸化を完全に除去した。この場合、エッチング終了後のウエーハを直ちに水洗して乾燥することによって、エッチングに伴う新たな面粗れ等が発生しないようにした。

【0058】さらに図1(i)で、犠牲酸化熱処理後のSOIウエーハ6を、研磨することなく、図3に示した急速加熱・急速冷却装置を用いて、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を施した。熱処理条件は、水素100%雰囲気下、1225℃で45秒間とした。なお、熱処理前には、SOIウエーハ6を汚染しないように、熱処理前洗浄をした。この洗浄は、いわゆるRCA洗浄として広く知られている、(アンモニア/過酸化水素水)、(塩酸/過酸化水素水)の2段洗浄を行った。

【0059】そして、還元性雰囲気下の熱処理後のSOI層7の表面粗さを、原子間力顕微鏡法により1 μm 角で再び測定したところ、それぞれRMS値で、平均0.28nmであり、面粗さは著しく改善されていた。この値は、通常の鏡面研磨されたシリコンウエーハの表面粗さと同等であり、還元性雰囲気下の熱処理によって著しい表面粗さの改善が図られたことがわかる。

【0060】また、このSOIウエーハ6のダメージ層の深さを調べるため、KOH水溶液によるエッチングを行い、表面からのエッチング除去量を変えたSOIウエーハを準備した。そして、これらのSOIウエーハを、前記H. Gasselらにより開示された四段セコエッチング法を行った後顕微鏡観察して、その表面に存在するピット密度をカウントすることによって測定した。エッチング除去量は、0、50、100、150nmとした。測定結果を、図2の曲線bに示した。この図から、犠牲酸化と還元性雰囲気下の熱処理後のSOIウエーハの表面には、研磨を行っていないにもかかわらず、ダメージ層がなくなっていることがわかる。すなわち、SOI層7の表面欠陥密度は、約200個/ cm^2 以下であり、深さ方向にこの値は変化せず、確実にダメージ層が除去されていることがわかる。

【0061】また、このSOIウエーハのSOI層の膜厚を前記と同様に反射分光法で測定し、再び膜厚均一性を求めた。その結果、測定値の σ は、0.9nmであり、従って膜厚均一性($\pm 3\sigma$)は ± 2.7 nmで、剥離直後と同一の値であった。従って、本発明で製造されるSOIウエーハのSOI層の膜厚均一性は、極めて良好であることがわかった。

【0062】(比較例)実施例と同様にして、図1(a)～(e)に従い、水素イオン注入剥離法によって、ボンドウエーハ2を剥離したSOIウエーハ6を得た。この比較例では、実施例と同様に結合熱処理工程(f)を省略し、なおかつ工程(g)(h)の犠牲酸化熱処理工程も行わないこととした。そして、工程(i)の還元性雰囲気下の熱処理を、実施例と同一の条件で、

急速加熱・急速冷却装置を用いてSOIウエーハ6に施した。

【0063】その後、SOI層の表面粗さを実施例と同様に原子間力顕微鏡法により測定した。また、このSOIウエーハのダメージ層の状態を前記四段セコエッチング法を行った後顕微鏡観察して、その表面に存在するビット密度をカウントすることによって測定した。エッチング除去量は、0、50、100、150、200、250、300nmとした。測定結果を図2の曲線cに示した。さらにSOI層の膜厚を実施例と同様に反射分光

法により測定した。
【0064】この比較例のSOI層の表面粗さは、RMS値で平均0.29nmであり、表面粗さは改善されていた。また、SOI層の膜厚均一性は σ が0.9nmで、酸化膜厚均一性(±3 σ)は±2.7nmであり、剥離直後の膜厚均一性が維持されていることがわかった。しかし、図2の曲線cに示したように、ダメージが表面から約50nmの深さまでに残留しており、ダメージ層が完全に除去されていないことがわかった。このダメージ層は、結局、研磨等で除去せざるを得ず、SOI層の膜厚均一性が劣化することが予想される。

【0065】なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は、例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

【0066】例えば、上記では2枚のシリコンウエーハを結合してSOIウエーハを作製する場合を中心に説明したが、本発明は、この場合に限定されるものではなく、シリコンウエーハにイオン注入後に絶縁性ウエーハと結合し、シリコンウエーハを剥離してSOIウエーハ

を製造する場合にも当然に適用可能である。

【0067】また、本発明のSOIウエーハの製造工程も、図1に示したものに限定されるものではなく、この工程には、洗浄、熱処理等の他の工程が付加されることもあるし、あるいは一部工程順の入れ替え、省略等が目的に応じて適宜行うことができるものである。

【0068】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、水素イオン注入剥離法において、剥離後に、犠牲酸化と還元性雰囲気下の熱処理を組み合わせることで、SOI層に残留するダメージ層、表面粗さを、SOI層の膜厚均一性を維持しつつ、効率良く除去することができる。したがって、きわめて高品質のSOIウエーハを高生産性で製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)～(j)は、本発明の水素イオン注入剥離法によるSOIウエーハの製造工程の一例を示すフロー図である。

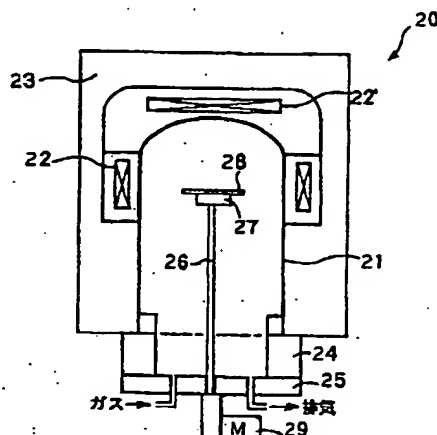
【図2】剥離後のSOIウエーハのダメージ層を測定した結果図である。

【図3】急速加熱・急速冷却装置の一例を示した、概略図である。

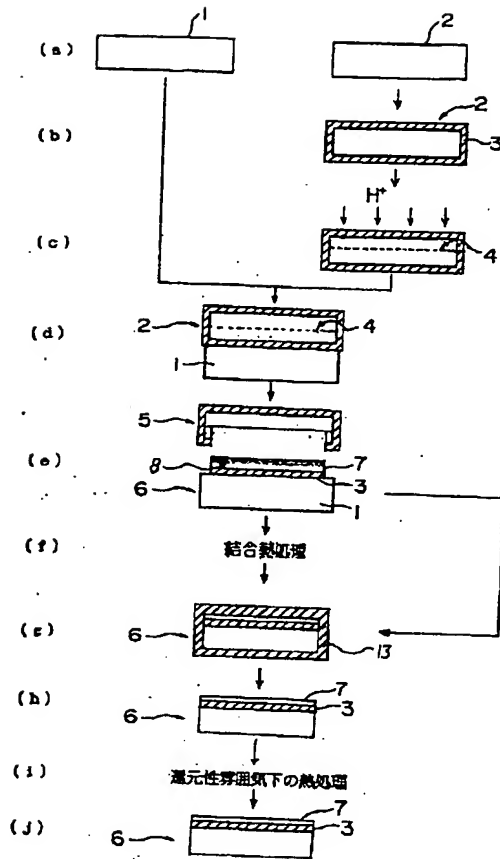
【符号の説明】

1…ベースウエーハ、2…ボンドウエーハ、3、13…酸化膜、4…水素イオン注入微小気泡層(封入層)、5…剥離ウエーハ、6…SOIウエーハ、7…SOI層、8…ダメージ層、20…熱処理装置、21…ベルジャ、22、22'…加熱ヒータ、23…ハウジング、24…水冷チャンバ、25…ベースプレート、26…支持軸、27…ステージ、28…SOIウエーハ、29…モータ。

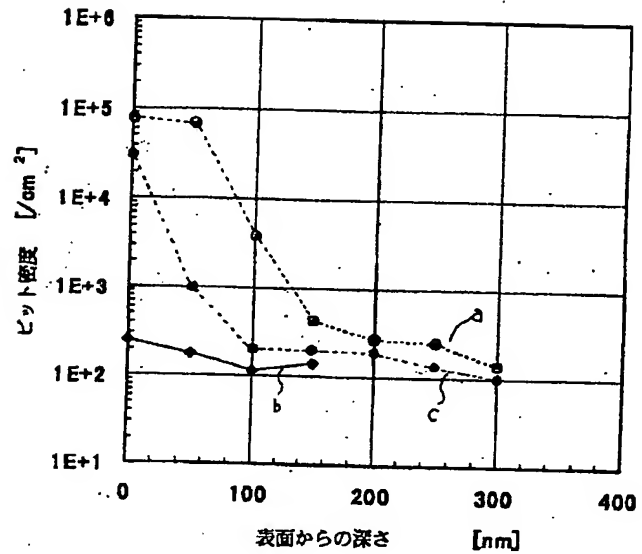
【図3】



【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 楠 直人

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半
導体株式会社半導体磯部研究所内

(72)発明者 三谷 清

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半
導体株式会社半導体磯部研究所内